

УДК 621.371:621.311.4

О.І. Дорошенко, к.т.н., доц., О.В. Панчишин

Одеський національний політехнічний університет, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 6 – 35 кВ

О.І. Doroshenko, PhD, Assoc. Prof., O.V. Panchyshyn

SINGLE-PHASE EARTH SHORT CIRCUIT MODELING IN 6-35 kV ELECTRIC NETWORKS

Як свідчать дослідження [1], у останні роки значно збільшився показник питомого рівня пошкодження електричних мереж (ЕМ) з номіналом напругою 6 – 35 кВ, який складає більше 100 од/рік на 100 км довжини таких мереж. У багатьох випадках такі неприємності обумовлені однофазними замиканнями на землю (ОЗЗ). За оцінкою [2], такі замикання складають біля 70 % від кількості замикань усіх видів і супроводжуються значними перенапругами.

Оскільки згадані ЕМ працюють в режимі ізольованої нейтралі, то замикання їх однієї фази не є аварійним, а струм замикання має ємнісний характер і складає десятки ампер. Векторна діаграма струмів при металевому замиканні (без урахування перехідного нелінійного опору) на землю фази А наведено на рис.1,а.

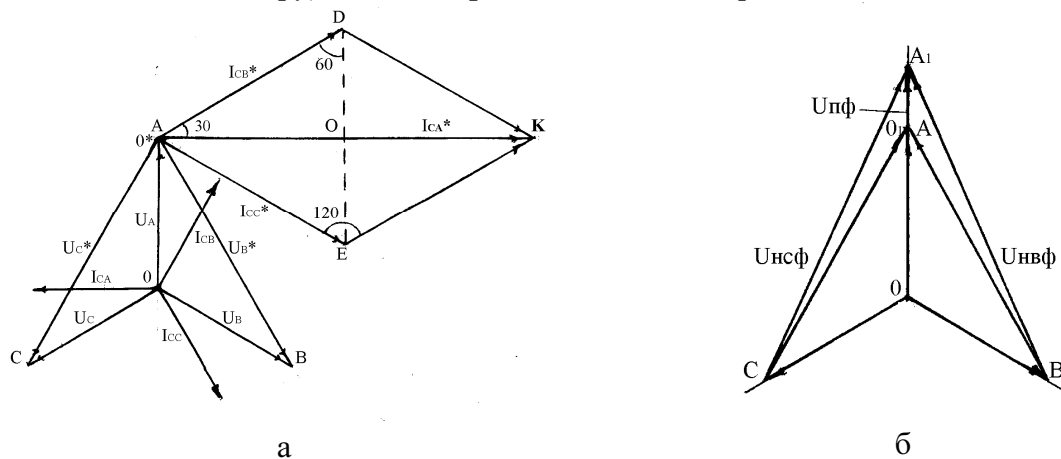


Рис.1. Векторні діаграми режиму ОЗЗ: а – струмів; б – напруг

Можна бачити, що струм пошкодженої фази А складає величину , А

$$I_{CA}^* = 3 \frac{I_{CA}}{\sqrt{2}}, \quad (1)$$

де I_{CA} - ємнісний струму від власної реактивної потужності фази А у нормальному режимі роботи мережі, що змінюється від нуля до амплітуди (за даними [3]), А.

Як видно з векторної діаграми напруг (рис.1,б), напруга пошкодженої фази складає суму фазної напруги фази А (вектор 0А) і падіння напруги в опорах пошкодженої фази від струму її замикання на землю (вектор АА₁), яке можна визначити за відомою формулою, кВ

$$\Delta U_{Пф} = R_{Пф} I_{CA}^* \sin \delta + X_{Пф} I_{CA}^* \cos \delta = (X_{Пф} \cos \delta - R_{Пф} \sin \delta) I_{CA}^*, \quad (2)$$

де $R_{Пф}$ - активний опір пошкодженої фази, приведений до номінальної напруги, Ом;
 $X_{Пф}$ - реактивний опір пошкодженої фази, приведений до номінальної напруги, Ом; δ - кут діелектричних втрат в діелектричному середовищі мережі, яке розглядається як джерело ємнісного струму, град.

Напруга пошкодженої фази складає величину, кВ

$$U_{ПФ} = U_{НОМ} + \Delta U_{ПФ}. \quad (3)$$

При цьому розрахункова заступна схема має такий вигляд, як наведено на рис.2. Спираючись на діаграму рис.1,б, можна визначити напругу непошкодженої фази, кВ

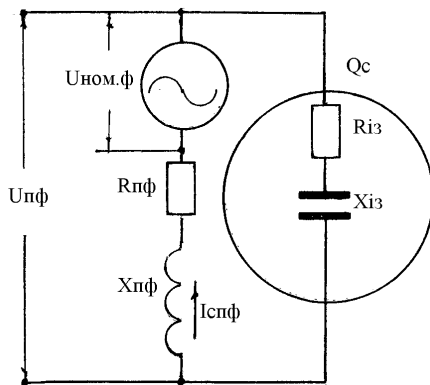


Рис.2. Заступна розрахункова схема

$$\begin{aligned} U_{НФ} &= \sqrt{U_{ПФ}^2 + U_{НОМ}^2 - 2U_{ПФ}U_{НОМ} \cos 120^\circ} = \\ &= \sqrt{U_{ПФ}^2 + U_{НОМ}^2 - 2U_{ПФ}U_{НОМ} \sin(-30^\circ)} = \\ &= \sqrt{U_{ПФ}^2 + U_{НОМ}^2 + U_{ПФ}U_{НОМ}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Розглянемо наступний приклад:

Загальна довжина ЕМ з номінальною напругою 6 кВ складає 57 км, а її власна загальна реактивна потужність – $Q_C = 665$ квар. Визначити перенапругу в кабельній лінії з перерізом $F = 240$ мм², що має довжину $L = 2,5$ км при металевому ОЗЗ на її початку і в кінці. При цьому: $I_C = -64$ А; $R_{КЛ} = 0,32230$ Ом; $X_{КЛ} = 0,17750$ Ом; $I_{СКК} = -3$ А; $\text{tg} \delta = 0,036$ в.о.

ОЗЗ на початку кабельної лінії:

$$\Delta U_{ПФ} = (0,17750 \cdot 0,999 - 0,32250 \cdot 0,036) \cdot 3 \cdot \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot 10^{-3} = 0,001 \text{ кВ}. \quad U_{ПФ} = 3,637 + 0,001 = 3,638 \text{ кВ}.$$

$$U_{НФ} = \sqrt{3,638^2 + 3,637^2 + 3,638 \cdot 3,637} = 6,3 \text{ кВ}.$$

$$kU_{Д} = \frac{U_{ПФ}}{U_{НОМ.Ф}} = \frac{6,3}{3,637} = 1,73 \text{ в.о.} \quad KU_{MAX} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ПФ}}{U_{НОМ.Ф}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 6,3}{3,637} = 2,45 \text{ в.о.}$$

ОЗЗ в кінці кабельної лінії:

$$\Delta U_{ПФ} = (0,17750 \cdot 0,999 - 0,32250 \cdot 0,036) \cdot 3 \cdot \frac{64}{\sqrt{2}} \cdot 10^{-3} = 0,022 \text{ кВ}. \quad U_{ПФ} = 3,637 + 0,022 = 3,659 \text{ кВ}.$$

$$U_{НФ} = \sqrt{3,659^2 + 3,637^2 + 3,659 \cdot 3,637} = 6,318 \text{ кВ}.$$

$$kU_{Д} = \frac{U_{ПФ}}{U_{НОМ.Ф}} = \frac{6,318}{3,637} = 1,74 \text{ в.о.} \quad KU_{MAX} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ПФ}}{U_{НОМ.Ф}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 6,318}{3,637} = 2,46 \text{ в.о.}$$

Очевидно, що при металевому ОЗЗ, величина перенапруги при замиканні на початку лінії і в її кінці відрізняються незначно. Для того щоб визначити як впливає перехідний нелінійний опір місця замикання необхідно певним чином відкорегувати заступну розрахункову схему і застосувати гармонійний метод розрахунку. При цьому, попередньо необхідно установити фізику залежності активного і реактивного опорів схеми від частоти. Висновок: Роботу необхідно продовжити з метою удосконалення реально-математичної моделі електричних мереж 6 – 35 кВ для моделювання режиму ОЗЗ.

Література

1. Мусиенко А. Г. Пути повышения надежности работы городских распределительных сетей напряжением 6(10) кВ / А. Г. Мусиенко, В. Ф. Сивокобыленко, М. П. Дергилев // Электрические сети и системы. – 2003. – №3. – С. 18 – 36.
2. Веприк Ю.Н. Перенапряжения в электрических сетях 6 – 35 кВ и современные средства их ограничения при замыканиях на землю / Веприк Ю.Н., Лебедка С.Н., Петровский М.В. / Вісник Сумського державного університету. Сер. “Технічні науки”. – 2008. – № 4. – С. 59 – 69.
3. Дорошенко О.І. Про фізику електромагнітного поля електроенергетичної системи / Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів. Кременчук, 2 – 4 листопада 2012 р. – С. 33 – 35.